

空調室内の気流混合特性に関する研究

木 内 俊 明*

Study on Characteristics of Air Flow Mixings for Air Conditioning Room

By Toshiaki Kiuchi*

Synopsis: This paper presents a view of quantitative analysis of the macro's method, having a general idea of mortality distribution function, for air conditioning performance in the rooms.

Variation of air conditioning performance is occurred by air volume, air streams, temperature difference, types, set place and others of outlets and inlets, and then, we consider used combination model function on the basis of experimental results.

要旨: 本論文は室内の空調性能の定量化を試みたもので、巨視的手法、すなわち寿命分布関数の概念を用いて評価する。

吹出し風量、風向、温度差、吹出し口および吸込み口の形態や位置等によって空調性能は変化するが、実験によって資料を得、組合せモデルを用いて考察した。

1. 結 言

室内空間へ供給される調和空気の量、吹出口形態、吹出口と吸込口、吹出口温度さらに室内の熱負荷などの関係において、室内の空気・熱環境を定量的に評価する一つの基準が定まることが望まれる。

本研究はこの室内の空気・熱環境の定量的評価の一方法として巨視的手法、すなわち、寿命分布関数 (mortality distribution function) あるいは確率密度関係を応用する。供給空気中に炭酸ガスをエア・トレーサとして用い、吹出口の供給空気の炭酸ガス濃度を一定に保持しつつ、ステップ状に注入し、一方吸込口でその過度応答を測定する。この濃度変化の測定と経験的な知識および理論的計算により、室内の活性領域、停滞空間量、供給空気のバイパス量などを結果として誘導し、定量的評価に結びつけようとするものである。

2. 混合特性理論と解析方法

混合特性に関する研究は巨視的モデル概念によるものであり、系統的には1935年 Mac Mullin & Weber 以後であり、Gilliland, Randolph さらに Danckwerts によって体系づけられた。Himmelblau, Bischoff はさらにプロ

セス解析のポピュレーションバランモデルを具体的に発展させた。

寿命分布関数に関する定量的定義を述べる。器内寿命分布 (残存率) $I(t)$ は連続関数であるから全分数の総和を1において正規化する。

$$\int_0^{\infty} I(t) dt = 1 \quad (1)$$

$\{1 - I(t)\}$ は時間 $(0, t)$ の間の過渡応答であり、累積濃度率であって $F(t)$ とおくと

$$F(t) = 1 - I(t) \quad (2)$$

いま、

$$\frac{d}{dt} F(t) = E(t), \quad F(t) = \int_0^t E(t) dt \quad (3)$$

とするとき $E(t) dt$ は $(t, t+dt)$ の間でトレーサ濃度の増加する確率で、濃度増加率分布あるいは流出流体の寿命分布といわれる。 $E(t)$ の形は、一般には図2に示すようになるが、その総面積は1であるから

$$\int_0^{\infty} E(t) dt = 1, \quad F(t) + I(t) = 1 \quad (4)$$

一般に寿命分布は確率密度関数 (probability density function) であるがここではトレーサ濃度を使用しているゆえをもって濃度増加率分布と呼ぶこととする。器内寿命分布は残存率などとも呼ばれるが、確率分布関数 (probability distribution function) であり、ここでは残存分布関数と呼ぶことにする。濃度増加率分布 $[E(t)]$

* 建築学科 教授
Professor, Architectural Division

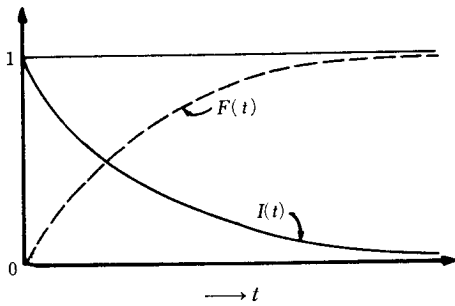


図-1 器内寿命分布 (残存率) と累積濃度率

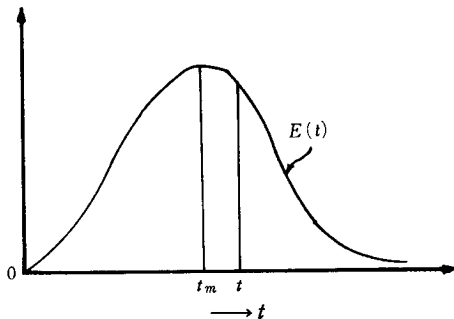


図-2 濃度増加率分布

と残存分布 $I(t)$ には次のような関係がある。

$$\bar{t}I(t) = 1 - \int_0^t E(t)dt = \int_t^\infty E(t)dt \quad (5)$$

$$\bar{t} \frac{d}{dt} I(t) = -E(t) \quad (6)$$

ここで \bar{t} は滞留時間分布の平均値である。

Naor と Shinnar らによって導入された強度関数 $\lambda(t)$ は瞬間濃度増加率 (force of mortality) であり次式で示される。

$$\lambda(t) = \frac{E(t)}{I(t)} \cdot \frac{1}{\bar{t}} \quad (7)$$

$$\lambda(t) = -\frac{d}{dt} [\ln I(t)] \quad (8)$$

いまこれら関数を無次元時間で示し、 $\theta = t/\bar{t}$ とすれば、 $I(\theta) = \bar{t}I(t)$ 、 $E(\theta) = \bar{t}E(t)$ 、 $\lambda(\theta) = \bar{t}\lambda(t)$ 、 $E(\theta) = -dI(\theta)/d\theta$ 、 $\lambda(\theta) = E(\theta)/I(\theta) = -d \ln I(\theta)/d\theta$ とる。

上記の寿命分布関数によってトレーサをステップ状入力信号と累積濃度分布である F 曲線の出力信号の関係を実験により得ることができる。一方ステップ状入力の代わりにパルス状の入力信号によってトレーサを注入したときの出口側の無次元化応答濃度分布の C 曲線の出力信号によっても得られるが、 $F(\theta)$ 、 $C(\theta)$ 、 $E(\theta)$ には次の関係がある。

$$C(\theta) = E(\theta) = \bar{t}E(t) \quad (9)$$

$$F(\theta) = \int_0^\theta C(\theta) d\theta \quad (10)$$

$$C(\theta) = \frac{d}{d\theta} F(\theta) \quad (11)$$

容器内が完全混合状態であるときの巨視的物質収支式を次に求める。

$$Qc_0 = Qc + V \frac{dc}{dt} \quad (12)$$

$\bar{t} = \frac{V}{Q}$ であるから、

$$\bar{t} \frac{dc}{dt} + c = c_0 \quad (13)$$

初期濃度 0 として解くと

$$\frac{C}{C_0} = 1 - e^{-t/\bar{t}} = F(\theta) \quad (14)$$

ただし C_0 : トレーサの流入濃度

C : トレーサの出口濃度

$$\text{したがって } I(t) = [1 - F(\theta)]/\bar{t} = e^{-t/\bar{t}}/\bar{t} \quad (15)$$

$$E(t) = dF(\theta)/dt = e^{-t/\bar{t}}/\bar{t} \quad (16)$$

$$I(\theta) = e^{-\theta} = E(\theta) \quad (17)$$

器内寿命分布 (残存分布) I と出口寿命分布 (濃度増加率分布) E とは完全混合状態では一致する。このときの濃度関数 $\lambda(t)$ は次のようになる。

$$\lambda(t) = \frac{1}{\bar{t}} \frac{E(t)}{I(t)} = \frac{1}{\bar{t}} \quad (18)$$

$$\lambda(\theta) = 1 \quad (19)$$

栓流の場合をみると、 $F(\theta)$ はステップ関数となる。

$$F(\theta) = U(t - \bar{t}) \quad (20)$$

$$\text{ここで } U(t - \bar{t}) = \begin{cases} 0 & t < \bar{t} \\ 1 & t > \bar{t} \end{cases}$$

したがって

$$I(t) = \frac{1}{\bar{t}} [1 - F(\theta)] = \frac{1}{\bar{t}} [1 - U(t - \bar{t})] \quad (21)$$

$$E(t) = \frac{dF}{dt} = \frac{d}{dt} U(t - \bar{t}) = \delta(t - \bar{t}) \quad (22)$$

$$I(\theta) = 1 - U(\theta - 1) \quad (23)$$

$$E(\theta) = \delta(\theta - 1) \quad (24)$$

ここで $\delta(x)$ はディラックデルタ関数である。

栓流での強度関数は次式で与えられる。

$$\lambda(t) = \frac{\delta(t - \bar{t})}{1 - U(t - \bar{t})} \quad (25)$$

$$\lambda(\theta) = \begin{cases} 0 & 0 \leq \theta < 1 \\ +\infty & \theta = 1 \end{cases} \quad (26)$$

一般に、寿命分布関数を一般化へ導入したのは Randolph, Hulbert, Katz らである。すなわち、

$$\int \varphi(x, y, z, \zeta_1, \dots, \zeta_m, t) dx dy dz d\zeta_1 \dots d\zeta_m = 1 \quad (27)$$

実体の分布 $\psi(x, y, z, \zeta_1, \dots, \zeta_m, t)$ のうち、 x, y, z は

空間座標, t は時間, ζ_i は実体 i 番目の属性を表わす。
 例えば ζ_1 は流体要素の寿命, ζ_2 は培養体の大きさであ
 ってよい。(27) 式は実体の生成 B , 実体の消滅 D との
 間で次の関係がある。

$$\frac{d}{dt} \int_R \psi dR = \int_R (B - D) dR \quad (28)$$

ここで, $dR = dx dy dz d\zeta_1 \cdots d\zeta_m$.

$$\int_R = \int_x \int_y \int_z \int_{\zeta_1} \cdots \int_{\zeta_m}$$

(28) 式の左辺は定積分の微分に対する Leibnitz の法
 則の一般形を用いて, 多次元の場合では,

$$\frac{d}{dt} \int_{R(t)} f dR = \int_{R(t)} \left[\frac{\partial f}{\partial t} + \sum_i \frac{\partial}{\partial \zeta_i} \left(\frac{d\zeta_i}{dt} f \right) \right] dR \quad (29)$$

ここで l は非時間変数 \sum はそれらの全変数について
 の和を示す。いま $v_x = dx/dt$, $v_y = dy/dt$, $v_z = dz/dt$ と
 定義し, 属性 ζ_i の時間に関する変化速度を $v_i = d\zeta_i/dt$
 とすると, (28) 式より

$$\int_R \left\{ \frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (v_x \psi) + \frac{\partial}{\partial y} (v_y \psi) + \frac{\partial}{\partial z} (v_z \psi) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial}{\partial \zeta_i} (v_i \psi) + D - B \right\} dR = 0 \quad (30)$$

R は任意なものであり, (30) 式が真であるための必
 要条件は被積分項が 0 であることであるから, 次の微分
 方程式を得る。

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (v_x \psi) + \frac{\partial}{\partial y} (v_y \psi) + \frac{\partial}{\partial z} (v_z \psi) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial}{\partial \zeta_i} (v_i \psi) + D - B = 0 \quad (31)$$

(31) 式が一般微視的寿命分布関数である。

(31) 式を容積 V にわたって積分する。ベクトル記号
 で表わす。

$$\int_V \left[\frac{\partial \psi}{\partial t} + V \cdot (\vec{v} \psi) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial}{\partial \zeta_i} (v_i \psi) + (D - B) \right] dx dy dz = 0 \quad (32)$$

幾何学的平均分布関係は次式となる。

$$\bar{\psi} \equiv \frac{1}{V} \int_V \psi dV \quad (33)$$

(32) 式を積分し, Gauss の発散定理を用い, 結果と
 して, 次の巨視的収支式が得られる。

$$\frac{1}{V} \frac{\partial}{\partial t} (V \bar{\psi}) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial}{\partial \zeta_i} (v_i \bar{\psi}) + \bar{D} - \bar{B} = -\frac{1}{V} [Q_{in} \psi_{in} - Q_{out} \psi_{out}] \quad (34)$$

(34) 式の例として, 一定容積, 定常状態では $\bar{D} = \bar{B}$
 = 0 であるから,

$$\sum_{i=1}^m \frac{\partial}{\partial \zeta_i} (v_i \bar{\psi}) = -\frac{1}{V} (Q_{in} \bar{\psi}_{in} - Q_{out} \bar{\psi}_{out}) \quad (35)$$

いま属性を寿命 1 つとし, これを α で示すと $\zeta_1 = \alpha$,

$$v_1 = \frac{d\alpha}{dt} = 1 \quad (36)$$

また, $\bar{\psi} = I(\alpha)$, $\bar{\psi}_{out} = E(\alpha)$, $\bar{\psi}_{in} = 0$ [又は $\delta(\alpha)$]
 とすると, (34) 式は,

$$\frac{d}{d\alpha} I(\alpha) = \frac{Q_{out}}{V} E(\alpha) \quad (37)$$

(37) 号は $V/Q = \bar{t}$ であるから, (6) 式に等しい。

つぎに完全混合槽列容器の濃度増加率分布 $E(\theta)$ につ
 いて図 3 の i 番目の槽での物質収支を考えると,

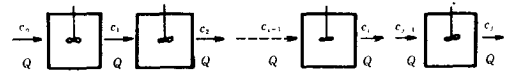


図-3 完全混合槽列

$$V' \frac{dc_i}{dt} + Qc_i = Qc_{i-1} \quad (38)$$

1 番目の槽にトレーサをパルス状に注入すると, $C(\theta)$
 曲線は,

$$C_{i \neq 0}(0) = 0, \quad C_{i=0} = C^0 \frac{V}{Q} \delta(t) \quad (39)$$

ここで C^0 : 系全体のトレーサ分布の平均濃度, $V = jV'$
 (38) 式, (39) 式をラプラス変換すると

$$sV' \bar{c}_i + Q\bar{c}_i = Q\bar{c}_{i-1} \quad (40)$$

$$\bar{c}_{i=0} = C^0 \frac{V}{Q} \quad (41)$$

最終槽の $i=j$ について解くと,

$$s \left(\frac{V'}{Q} \right) + 1 = \frac{\bar{c}_{j-1}}{\bar{c}_j} \quad \text{より}$$

$$\bar{c}_j = \frac{c_{j-1}}{s(V'/Q) + 1} = \frac{c_{j-2}}{[s(V'/Q) + 1]^2} = \cdots = \frac{c_{i=0}}{[s(V'/Q) + 1]^j} \quad (42)$$

$$c_j = \frac{C^0 V/Q}{[s(V'/Q) + 1]^j} \quad (43)$$

逆変換すると,

$$c_j = C^0 \frac{V}{\theta} \frac{1}{(j-1)!} \left(\frac{jQ}{V} \right)^j t^{j-1} e^{-(jQ/V)t} \quad (44)$$

$\bar{t} = V/Q$, $\theta = t/\bar{t}$ を代入すると,

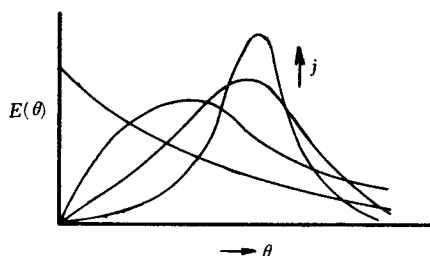
$$E(\theta) = c(\theta) = \frac{C^0}{C^0} = \frac{j^j}{(j-1)!} \theta^{j-1} e^{-j\theta} \quad (45)$$

(45) 式はガンマ分布を表わし, $(j-1)!$ は Stirling 級
 数で近似することもある。

図 4 は j 値に対する関係を示している。

(45) 式は $C(\theta)$ すなわちインパルス応答であるので,
 これをステップ応答とするには (10) 式で示した如く
 $C(\theta)$ を積分すればよい。

$$F(\theta) = \int c(\theta) d\theta = \frac{j^j}{(j-1)!} \int \theta^{j-1} e^{-j\theta} d\theta \quad (46)$$

図-4 完全混合槽列 j 値の変化の関係

$$\begin{aligned}
 I_{j-1} &= \int \theta^{j-1} e^{-j\theta} d\theta \quad \text{とおくと} \\
 I_{j-1} &= \int \theta^{j-1} e^{-j\theta} d\theta = -\frac{1}{j} \theta^{j-1} e^{-j\theta} + \frac{j-1}{j} \int \theta^{j-2} e^{-j\theta} d\theta \\
 &= -\frac{1}{j} \theta^{j-1} e^{-j\theta} + \frac{j-1}{j} I_{j-2} \\
 I_{j-2} &= \int \theta^{j-2} e^{-j\theta} d\theta = -\frac{1}{j} \theta^{j-2} e^{-j\theta} + \frac{j-2}{j} \int \theta^{j-3} e^{-j\theta} d\theta \\
 &\vdots \\
 I_1 &= \int \theta e^{-j\theta} d\theta = -\frac{1}{j} \theta e^{-j\theta} + \frac{1}{j} \int e^{-j\theta} d\theta \\
 &= -\frac{1}{j} \theta e^{-j\theta} - \frac{1}{j^2} e^{-j\theta}
 \end{aligned}$$

(46) 式はつぎようになる。

$$\begin{aligned}
 F(\theta) &= 1 - \frac{j^j}{(j-1)!} \left(\frac{1}{j} \theta^{j-1} e^{-j\theta} + \frac{j-1}{j^2} \theta^{j-2} e^{-j\theta} + \dots \right. \\
 &\quad \left. + \frac{(j-1)(j-2)}{j^3} \theta^{j-3} e^{-j\theta} + \frac{(j-1)!}{j^{j-1}} \left\{ \theta e^{-j\theta} + \frac{1}{j} e^{-j\theta} \right\} \right)
 \end{aligned}$$

(47)

(47) 式の $F(\theta)$ は図3で示す完全混合槽列モデルのステップ応答曲線である。いま j' 値が1の場合は完全混合槽そのものであり、 j' が無限に多くなると栓流モデルになることを示す。 j' 値の変化の関係は図4に示す。

空調室内空間の吹出し気流の特性を経験的に考察し、また実験で求めた応答曲線をもとにして、つぎに示すような室内混合状態の一般モデルを仮定した。このモデルを図5に示す。図5の一般モデルは活性域（完全混合域）VMと活性域と栓流域の中間の存在の押出域VPとからなると仮定する。VPの押出域は図3で示した完全混合槽列であるが、 j 槽の数については実験で求めた応答曲線にもとづき最も適合する値を見出す。

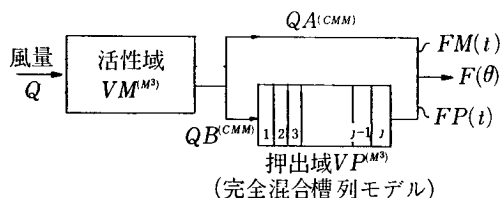


図-5 空調空間の一般モデル図

一般モデルの組合わされた累積濃度率 $F(\theta)$ 曲線はつぎようになる。

$$F(\theta) = \{FM(t) \cdot QA + FP(t) \cdot QB\} / Q \quad (48)$$

ここで $FM(t)$: 活性域 F 曲線

$FP(t)$: 押出域 F 曲線

$F(\theta)$: 全体の F 曲線（累積濃度率）

Q : 全体の風量 $Q = QA + QB$

QA : 活性域から出て直接、吸込口へ流れる風量

QB : 活性域から出て、さらに押出域に流入する風量

活性域容積 VM 内における累積濃度率の $FM(t)$ 曲線はつぎようになる。これは (14) 式に対応する。

$$FM(t) = 1 - e^{-(Q/VM)t} \quad (49)$$

押出域容積 VP 内の累積濃度率の $FP(t)$ は (38) 式による微分方程式から導入した $E(\theta)$ の (45) 式をステップ応答に導いた (47) 式によって得られる。

実験によって得られた $F(\theta)$ 曲線とあらかじめ条件設定した風量 Q より、 VM 、 VP の容積、 $FM(t)$ 曲線、 $FP(t)$ 曲線、 QA 、 QB を求め、定量化へ導く。

3. 実験の概要

本学内・建築設備実験室内の空気・熱環境測定室および実験用空調装置を利用し、昭和51年夏期および12月にかけて46通りの条件の異なる実験を行った。測定室の大きさは $6.0\text{m} \times 4.0\text{m} \times 2.5\text{m}$ で三面ガラス張りであり、うち 4.0m 巾の一面は夏形の加熱、冬形の冷却を再現することができる。

今回の実験は昨年の予備実験の経験を得て、装置上の制約条件による誤差をできるだけ少くすることに努めたが、風量の脈動によって生ずる累積濃度率の脈動変化があった。しかし、吹出口形態、吸込口との対応、風量変化、吹出口からの温度差をできるだけ単純化し、応答曲

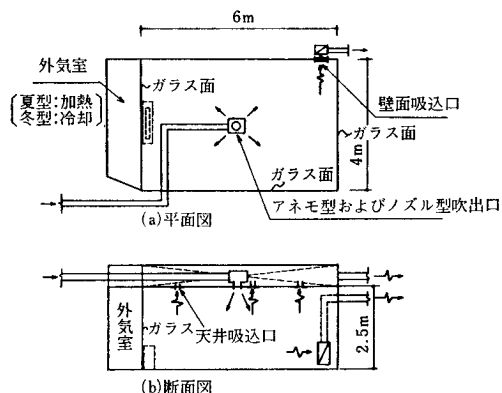


図-6 実験測定室平面、断面

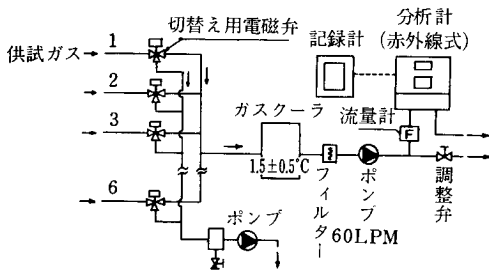


図-7 CO₂ ガス分析装置フロー

線から得られる定量数値への一般化へと努めた。

吹出口は天井中央に設けたアネモ形、ノズル形の2種とし、吸込口は天井面、床面近くの壁面とした。送風量は $20\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 、 $10\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 、 $6\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ とし、夏（冷風吹出し）、中間期型（等温吹出し）、冬型（温風吹出し）とした。トレーサに用いた炭酸ガスはある一定時間、2000ppm 程度に保持してステップ状に注入し、吹出口から定濃度空気を吹出す。この入力に対して、吸込口で応答する出力、トレーサガス濃度を測定する。この吹出口と吸込口以外にも室内の中央の上、中、下の3点、壁面近くの上、中、下3点その他要所のガス濃度の応答も測定した。一方これに併行して従来の環境評価の方法としての室内の温度分布（室内63点）、気流速度分布など測定した。

使用した測定計器は赤外線炭酸ガス濃度指示・記録計（島津）2台、デジタル温度記録計50点用2台（横河）、多点温度記録計、アネモマスターなどである。

表1に実験番号と実験条件の一覧を示す。

4. 実験の結果

ステップ応答におけるトレーサガス累積濃度率の出力に相当する資料を一部抜粋し、図8～図12に示す。図8（実験2）は冷房状態で、吹出し風量も一般的なものである。図中に示す室内各点のガス濃度分布はリタン（吹込口）濃度とほとんど同じ値であるが、このことは室内全体が活性域であることを示す。

図9は暖房状態で、天井吸込み方式である。吸込口濃度は上昇するが、室内中央部及び床面での応答はかなり遅いことが判るが、これは室内空間にかなりの非活性域があることを示す。図10は図9の場合 $Q=20\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ であったのに対し、 $Q=10\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ であるため、室内の気流の運動エネルギー量はさらに少くなり、室内のガス濃度にかんがりのバラツキを示す。これは天井付アネモ吹出しからの気流が天井面近くに停滞し、室内空気の混合が行われないためである。

表-1 実験条件一覧

実験番号	風量 m^3/km^2	室内	吹出形態	吸込形態	補助
2	20	冷房	角アネモ	天井	
3	10	"	"	"	
5	20	等温	"	"	
6	10	"	"	"	
8	20	冷房	"	"	FCU
9	10	"	"	"	FCU
14	20	等温	"	"	ヒーター
15	10	"	"	"	ヒーター
17	20	等温	"	壁	ヒーター
18	10	"	"	"	ヒーター
20	20	冷房	"	"	
21	10	"	"	"	
23	20	等温	"	"	
24	10	"	"	"	
26	20	冷房	"	"	FCU
27	10	"	"	"	FCU
31	20	暖房	"	天井	
32	20	"	"	壁	
33	10	"	"	天井	
34	10	"	"	壁	
35	6	冷房	"	天井	
36	6	"	"	壁	
37	6	"	"	天井	FCU ファンのみ
38	6	"	"	壁	FCU ファンのみ
39	6	暖房	"	天井	
40	6	"	"	壁	
41	20	暖房	ノズル	天井	
42	20	"	"	壁	
43	20	冷房	"	天井	
44	20	"	"	壁	
45	6	暖房	"	天井	
64	6	"	"	壁	
47	6	冷房	"	天井	
48	6	"	"	壁	

（注） 実験番号の欠番はトレーサガスのステップ入力不備のため除外した。

図11及び12は風量を $6\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ とした場合であり、吹出口が天井付ノズルであって、室内の中央で下方に吹き下ろされる状態である。測定点が吹出口直下から少しはなれているが、気流の活性域にあるため、吸込口および室内側ともほぼ同じガス濃度の応答をしていることが判る。ただし、風量が小であるため、全体として応答速度が遅い。

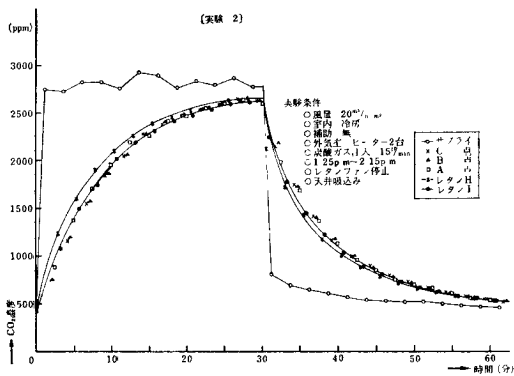
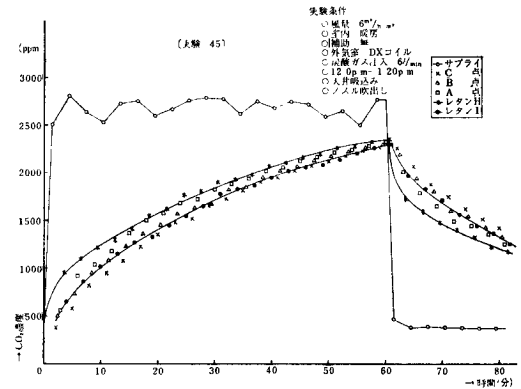
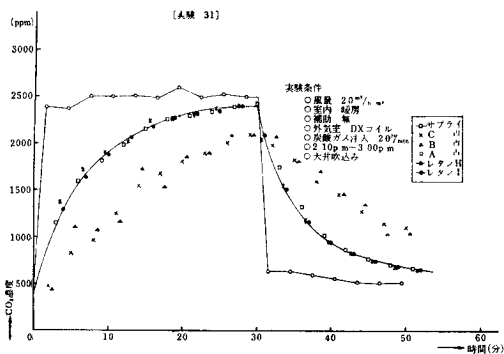
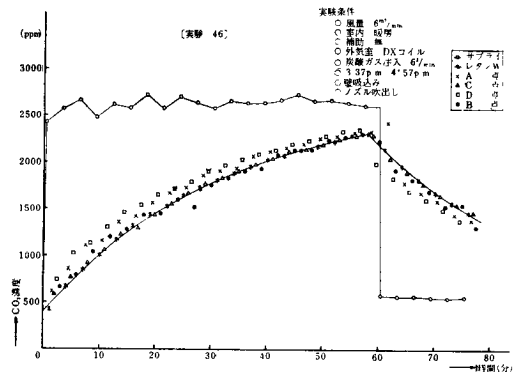
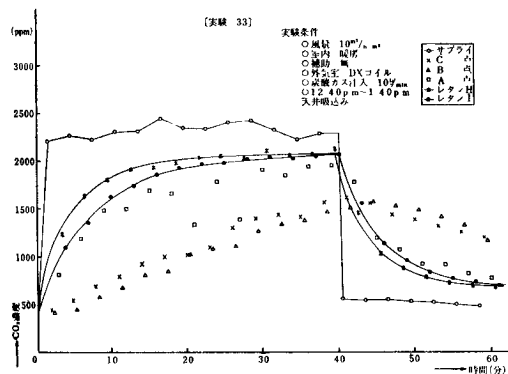
図-8 実験2, CO₂ 濃度図-11 実験45, CO₂ 濃度図-9 実験31, CO₂ 濃度図-12 実験46, CO₂ 濃度図-10 実験33, CO₂ 濃度

図13~14はC(θ)曲線でパルス入力に対する応答曲線である。図13は風量10m³/hm²、アネモ吹出し、図14は風量6m³/hm²ノズル吹出しの場合である。応答の初期の段階で完全混合曲線より上部に出力されている場合は吹出し空気が吸込口にバイパスされている状態を示す。

図8~図14は実験による応答結果であり、これらの曲

線をもってある程度の定量的判断はできるが、一般的定量化につながらない。ここでは前出した(47)式、(48)式、(49)式などにより数式モデルを用い、電算機により計算させ、その結果の一部を表2に示す。

モデル式を用いて、ステップ応答およびインパルス応答を求め、また対応する室内温度分布の図を図15-1より図15-7に示す。以下モデル計算結果等をもとにし考察する。

(a) 温度分布とガス応答関係

温度分布グラフを図15-1~図15-7の各④に示してあるが、活性域VMの割合が大きい程、温度分布は集中されており、良い結果が得られる。風量が小となるとパイパスや停滞域が生ずることにより温度のバラツキが大となる。実験46の風量1.9CMMの場合、活性域が大であることは吸込口が壁面であり、気流の分布がかなりよいことが判るが一方、天井面近くには停滞域が存在し、その結果として室温にバラツキが生ずる。

(b) 活性域、押出し域空間の関係

モデル式より算出したVMおよびVPの割合はこの

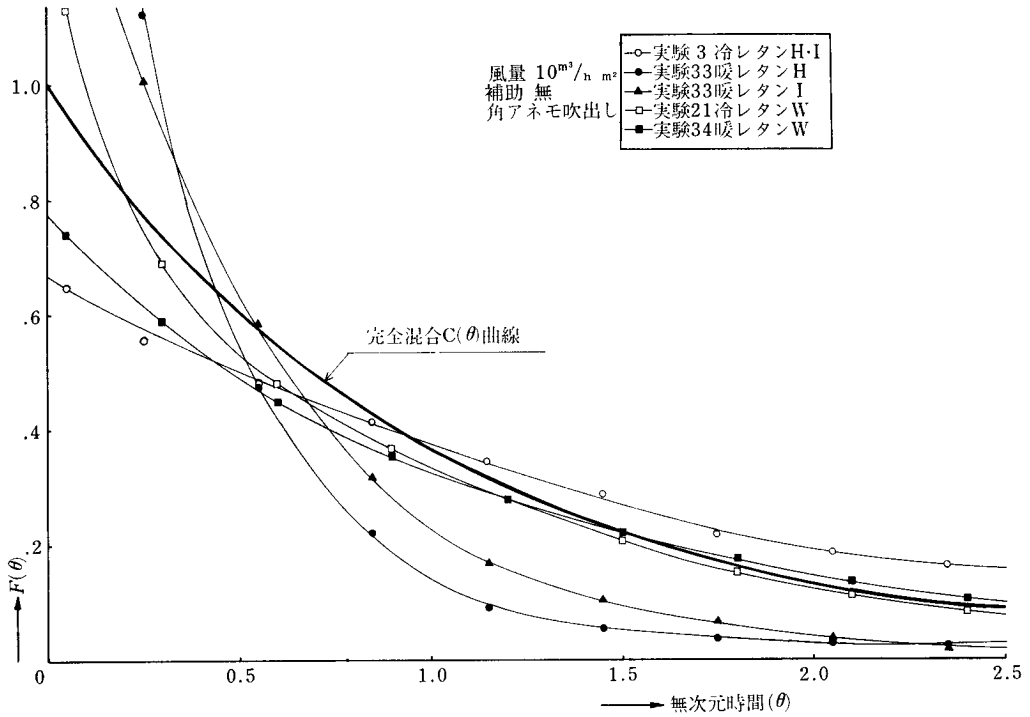


図-13 インパルス応答曲線 [$C(\theta)$ 曲線]

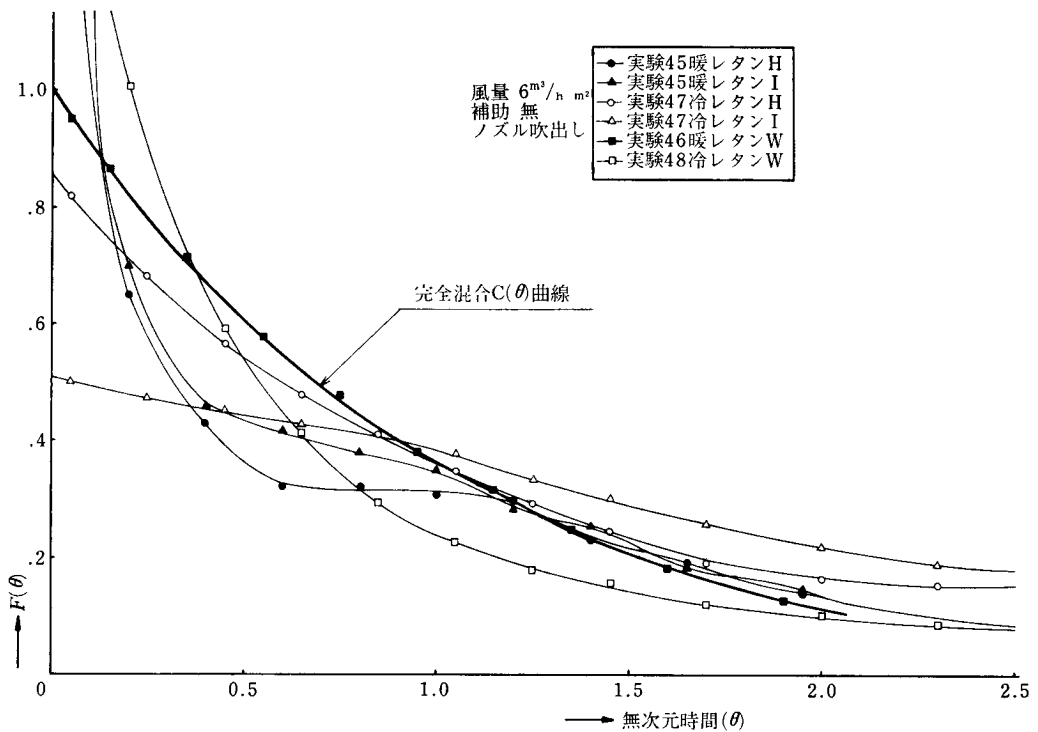


図-14 インパルス応答曲線

大きさによって、ある程度の温度のパラッキの良し悪しが判る。活性域が大であることは室内において温度拡散が有効に働いていることを示すものである。押し域は $(1-VM)$ で示されるが、押し域に共通なことは死空間ではないにしろ、かなりの停滞域であり、気流および温度の拡散は緩慢であることを示す。槽列は5~10列相当であると考えられる。したがって完全な栓流ではない。

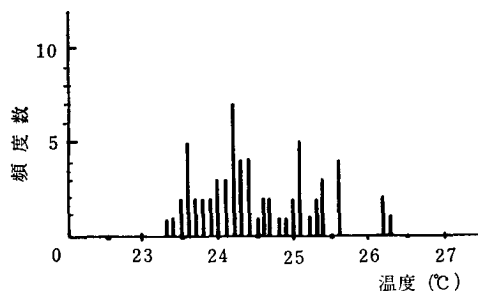
(c) 極端な領域の検出について

ここでいう極端な領域とは停滞空間およびバイパス現象を伴う領域である。

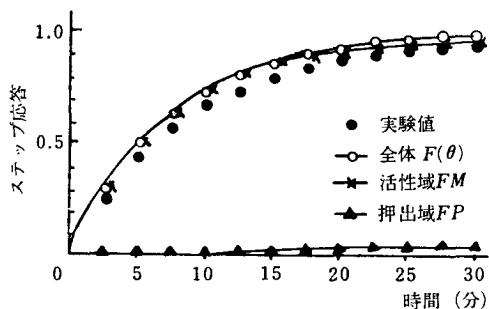
表2で示した QX と VX との比すなわち VX/QX 、風量分割率に対する容積分割率の割合を示すものである。この VX/QX の比率がくずれることによって、反応の速さが変わり、極端な領域が生ずるものと考えられる。計算結果から VX/QX 値について次のように判断する。すなわち、 $VX/QX < 1$ ではバイパスの存在、 $VX/QX \approx 1$ では極端な領域の無い、良好な空間、 $VX/QX > 1$ では停滞空間の存在につながるものとする。表2で示すように、実験 No. 33 では VX/QX 値

表-2 実験条件および決定モデル

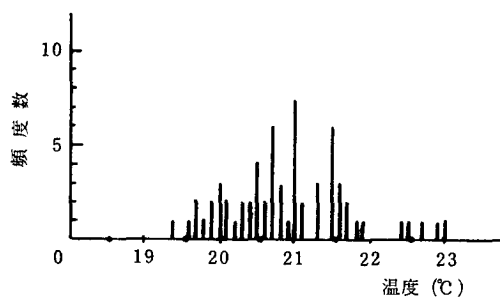
実験 番号	実 験 条 件				モ デ ル						
	空 状 調 態	風 量 m^3/min	吹出口 形 状	吸込口 位 置	容 積 (M^3)		風 量 m^3/min		$VX = \frac{VM}{V}$	$QX = \frac{QA}{Q}$	$\frac{VX}{QX}$
2	冷 房	7.9	アネモ	天 井	54	6	7.5	0.4	0.90	0.95	0.95
43	冷 房	7.9	ノズル	天 井	53	7	7.4	0.5	0.88	0.94	0.94
5	暖 房	7.9	アネモ	天 井	54	6	7.5	0.4	0.90	0.95	0.95
31	暖 房	7.7	アネモ	天 井	43	18	6.6	1.1	0.70	0.86	0.81
41	暖 房	7.7	ノズル	天 井	48	12	6.6	1.1	0.80	0.86	0.93
33	暖 房	2.6	アネモ	天 井	12	48	2.0	0.6	0.20	0.77	0.26
45	暖 房	2.3	ノズル	天 井	22	18	1.3	1.0	0.37	0.57	0.65
46	暖 房	1.9	ノズル	壁	57	3	1.2	0.7	0.95	0.63	1.51



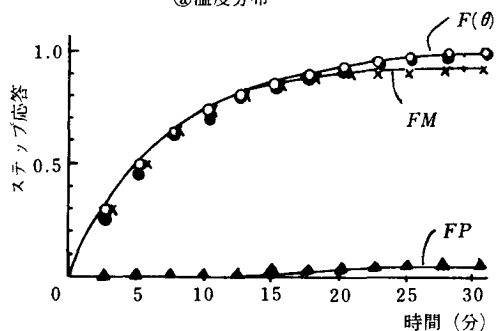
①温度分布



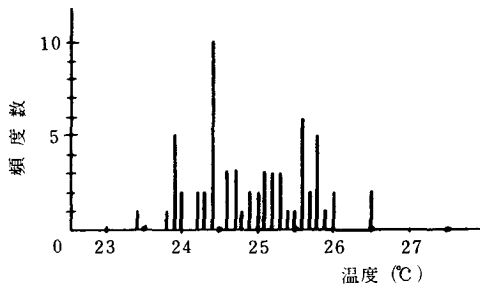
①ステップ応答 実験2



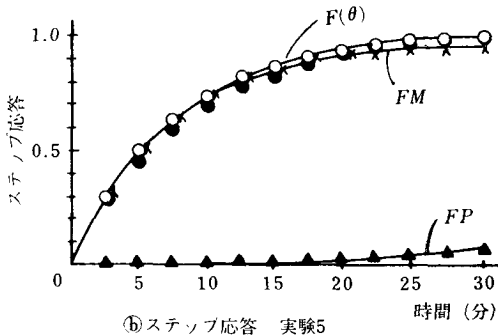
①温度分布



①ステップ応答 実験43

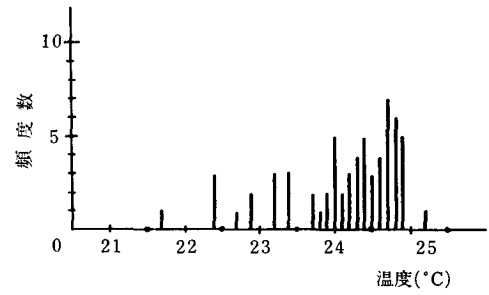


(a)温度分布

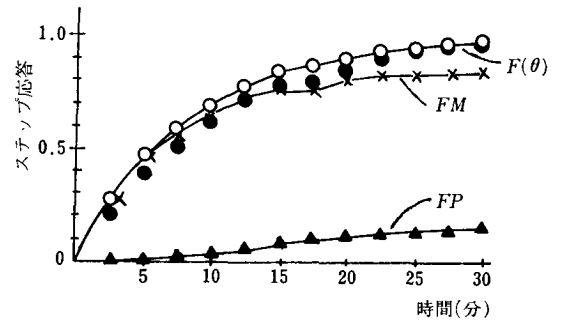


⑤ステップ応答 実験5

図-15-3

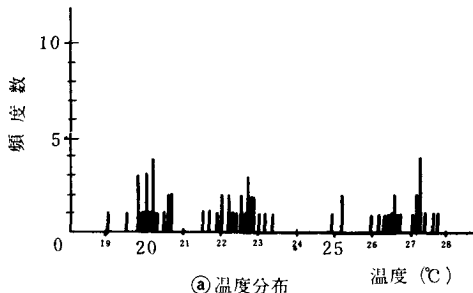


(a)温度分布

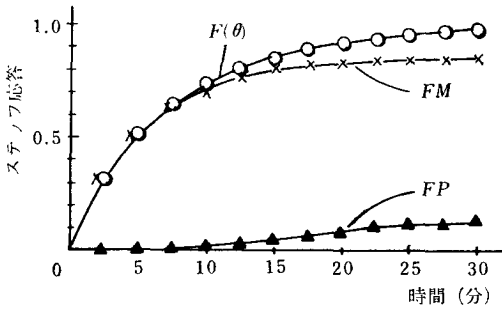


⑤ステップ応答 実験41

図-15-5

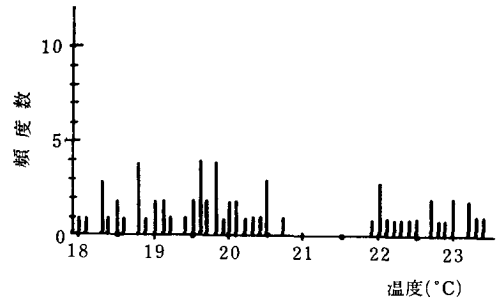


(a)温度分布

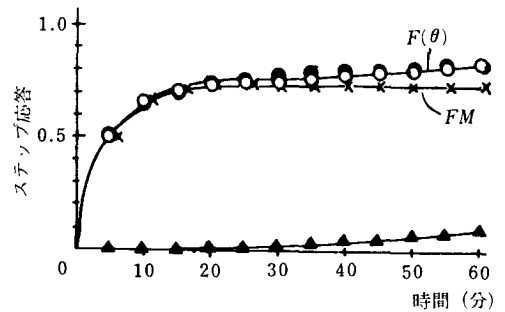


⑤ステップ応答 実験31

図-15-4



(a)温度分布



⑤ステップ応答 実験33

図-15-6

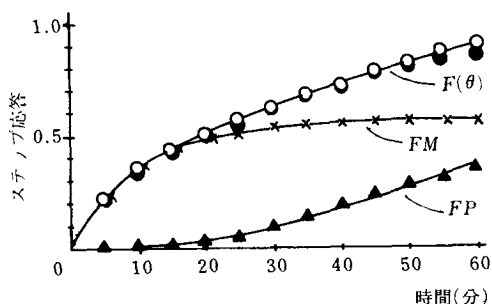
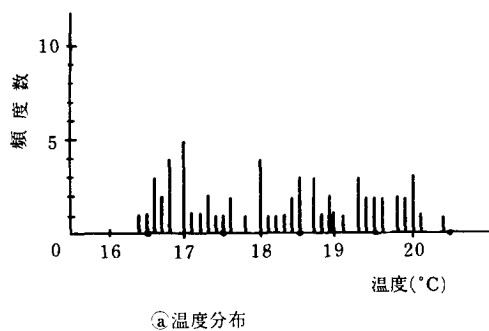


図-15-7

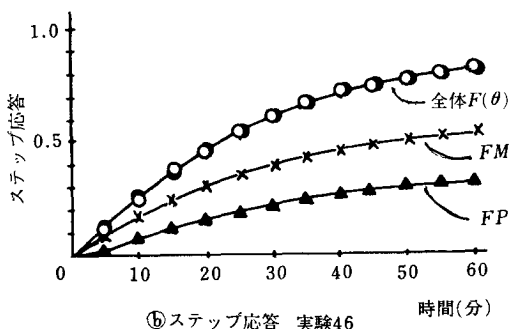
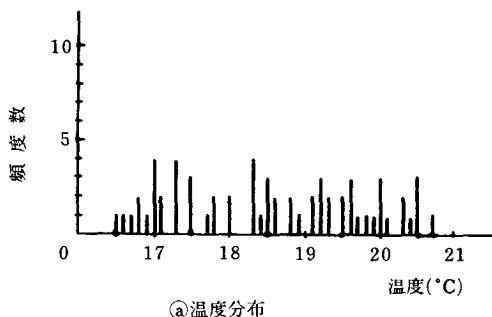


図-15-8

が0.26となり天井部分でバイパス量が多いことが判る。一方実験 No. 46 は VX/QX 値が1.51となっているが、風量が小であり、活性域から出た風量のうち QB 相当の0.37が停滞空間に流れるが、気流が停滞状態に留まっている部分が多いと判断する。

5. おわりに

今回の実験およびモデル式による計算結果などを総合的に考察すると、④モデル式の算出は室内の混合性能を評価するのに有効であり、空気・熱環境性能の情報を反映できる結果が得られた。⑤今回のモデルは活性域と押し出し域の2領域の組合せモデルであるので、各種の実験結果との照合によっては組合せモデルの改良の検討余地を残している。(c)組合せモデルの改良などにより、空調空間、空調吹出し・吸込みの形態など数多いパラメータを巨視的数量化によって、総合的に評価できる方法にもってゆきたいと考えている。

謝 辞

本研究報告の作成に際し、終始御指導を頂いた早稲田大学理工学部教授井上宇市博士に対し深く感謝致します。また本実験および資料作成に対し助言と作業を共にした早稲田大学井上研究室李春夫氏、早稲田大学大学院の平野 広君(当時)および郷 正明君に対し併せて感謝の意を表します。

当実験は当校の昭和51年度の卒業論文に従事した辻本善二、安増俊彦、大附一彦、林 潤滋の各君によるもので附記致します。

なお組合せモデル式のプログラム作成および電算機による計算は、上記の李、平野、郷の各君に背うところが多かったことを附記し重ねて謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) D.M. Himmelblau・K.B. Bischoff, 井本他訳 プロセス解析計算法, 培風館
- 2) 城塚, 平田, 村上 移動速度論 オーム社
- 3) 後藤, 大場 排出年齢分布関数による室内気流モデル実験 空気調和工学第49巻第9号
- 4) 石原, 久保 室内の換気効果に関する実験的研究(その1)及び(その2), 日本建築学会講演梗概集 昭和50年10月
- 5) 浅野賢二 室内における吹出気流の混合性状に関する実験, 日本建築学会講演梗概集 昭和47年10月
- 6) 井上, 木内他 空調時の室内気流の混合特性に関する研究(1), 日本建築学会講演梗概集 昭和52年10月
- 7) 井上, 木内他 空調時の室内気流の混合特性に関する研究(2), 空気調和工学会学術講演会論文集 昭和52年10月